

威胁三峡库区安全的大型特大型滑坡崩塌

刘新民 李 娜 乔建平

(中国科学院成都地理研究所)

提 要

从拟建三峡大坝坝址三斗坪到重庆,长约600公里的长江河谷两岸,计有滑坡崩塌214处,占据面积100余平方公里,总方量达13.52亿立方米;河谷平均每公里有滑坡崩塌0.36处,土石方量225.32万立方米。在214处滑坡崩塌中,有1,000万立方米以上的大型特大型滑坡崩塌36处。它们集中分布于构造急剧转弯部位,背斜倾没端,向斜翘起端,几组构造线交叉复合地段,构造盆地的边缘和新构造活动相对强烈的上升区。整个河谷岸坡的破坏方式,以基岩顺层滑坡为主,基岩切层滑坡不多;其次是第四系松散堆积层滑坡,约占总滑崩方量的17.73%;崩塌仅占8%左右。这些滑坡崩塌,尤其是大型和特大型滑坡,集中分布在库区的要害部位,对大坝库区的安全有影响。

一、三峡库区滑坡崩塌分布特征

(一) 三峡库区滑坡崩塌概况。从拟建三峡大坝坝址三斗坪到重庆,长约600公里的长江河谷两岸,计有滑坡崩塌214处,占据面积100余平方公里,滑坡崩塌体总量达13.52亿立方米,其中:崩塌47个,体积1.173亿立方米;滑坡167个,体积12.35亿立方米。崩塌占崩滑总数的21.96%,占崩滑总体积的8.6%;滑坡占崩滑总数的78.04%,占崩滑总体积的91.4%(表1)。河谷平均每公里有滑坡0.36个,体积225.32万立方米。这说明,库区长江河谷岸坡破坏的形式是以滑坡为主。

为了便于讨论,将滑坡崩塌按规模大小划分出7个等级(表1)。

从表中可以看出,50万立方米以下的滑坡崩塌点最多(124个,约占滑坡崩塌总数的57.90%),而崩滑体总量最少(1,428.70万立方米,约占崩滑体总量的1.00%)。1,000万立方米以上的大型特大型崩塌4个,体积9,700万立方米;1,000万立方米以上的滑坡32个,体积达7.59亿立方米,约占崩塌滑坡总体积的56.14%,其中5,000万立方米以上的特大型滑坡达7个,滑体总体积5.15亿立方米,占滑坡崩塌总体积38.00%。这表明,现在岸坡以滑坡为主的破坏形式中又以大型特大型滑坡最为活跃。

现将长江干流河谷中以及可能受水库影响的支流中的36个1,000万立方米和1,000万立方米以上的滑坡崩塌点列表如下(见表2和图1)。

从表中36个大型特大型滑坡崩塌,地域分布特点上看,具有明显的差异(见滑坡分布图)。大体以万县市为界,分东西两段:万县市以西为西段,万县市以东(包括万县在内)为东段。西段滑坡崩塌分布稀疏,滑坡崩塌体积相对较小;东段(即三峡水库关键部位)分布密集,滑坡

表 1

重庆—三斗坪间滑坡崩塌规模分级统计

类 型	单 位	规 模 区 间 (万立方米)							累 计
		<50.00	50—99	100—500	500—1,000	1,000—3,000	3,000—5,000	≥5,000	
崩 塌	个	31.00	7	5	0	3	0	1	47
	体 积	1,550	693	2,250	0	6,807	0	6,000	1.73 (亿立方米)
滑 坡	个	93.00	13	21	8	20	5	7	167
	体 积	1,177	893	4,330	5,950	38,150	21,500	51,500	12.35 (亿立方米)

表 2

三峡库区大型特大型滑坡崩塌统计

编 号	位 置	岸别及距大坝(公里)	类 型	分布高程(米)	体 积 万立方米	地 层 代 号	构造部位	发生时代	稳定性
36	丰都桃园	右岸 441	崩 塌	140—300	1,000	J ₂	丰都向斜南翼转折端	历史	不稳
48	丰都陈家吊崖	右岸 425	堆积层 滑 坡	140—250	2,000	Q ₄ /J ₂	丰都向斜南翼近轴部	历史	不稳
51	丰都龙王庙	左岸 420	同 上	130—300	1,000	Q ₄ /J ₂	同 上	古	不稳
57	丰都猫须子	右岸 402	基岩顺层 滑 坡	130—360	3,000	J ₂	同 上	古	不稳
80	万县后槽	右岸 314	基岩顺层 滑 坡	110—280	3,500	J ₁₋₂	忠县向斜东端翘起端	古	较稳
98	万县凤凰岩	右岸 283	堆积层 滑 坡	230—380	1,600	Q ₄ /J ₂	万县向斜南翼近轴部	历史	稳定
101	万县沙河子中学	左岸 289	基岩顺层 滑 坡	145—400	5,000	J ₂	万县向斜北西翼	古	不稳
102	万县草街子	左岸 285	同 上	145—300	1,500	J ₂	同 上	古	稳定
104	万县市高升堂	左岸 283	基岩崩塌	150—380	6,000	J ₂	同 上	古	较稳

编号	位置	岸别及距大坝(公里)	类型	分布高程(米)	体积万立方米	地层代号	构造部位	发生时代	稳定性
105	万县刘家院子	右岸 282	基岩顺层滑坡	110—520	7,000	J _{2s}	万县向斜南翼转折端	古	稳定
107	万县市玉皇观	左岸 282	基岩切坡	180—300	6,000	J _{2s}	同上	古	较稳
109	万县铺口	左岸 272	基岩顺层滑坡	105—200	1,500	J _{2s}	万县向斜轴部	古	较稳
123	云阳兴隆滩	左岸 240	基岩顺层滑坡	100—500	4,500	J _{2p}	故陵向斜北西翼	1986年	稳定
126	云阳旧县坪	左岸 234	同上	105—400	7,000	J _{2s}	同上	古	较稳定
133	云阳县城西	左岸 226	同上	120—500	2,500	J _{2p}	同上	古	不稳
134	云阳县城东	左岸 225	同上	110—450	4,500	J _{2p}	同上	古	较稳定
135	云阳县鸡扒子	左岸 224	同上	110—400	2,000	J _{2p}	同上	古	较稳
136	云阳县宝塔	左岸 223	同上	80—530	7,800	J _{2p}	同上	古	较稳
138	云阳县罗家湾	右岸 208	同上	90—320	1,800	J _{2p}	故陵向斜南翼	古	较稳
146	奉节县新铺	右岸 180	同上	90—690	4,500	J _{1s}	故陵向斜东段翘起端	古	不稳
148	奉节县三磴子	左岸 176	基岩顺层滑坡	150—520	1,500	J _{1s}	故陵向斜东段翘起端	古 1939年复活	不稳
150	奉节县百换坪	右岸 172	同上	100—500	9,000	J _{2s}	同上	古	较稳
154	奉节县茨草沱	右岸 166	同上	90—240	1,650	T _{2s}	同上	古	较稳
156	奉节县白依佬	左岸 164	同上	160—500	2,800	T _{2s}	千溪沟向斜北西翼	古	不稳

编号	位置	岸别及距大坝(公里)	类型	分布高程(米)	体积万立方米	地层代号	构造部位	发生时代	稳定性
165	巫山刘家屋场	右岸 146	同上	100—500	4,500	T _{2b}	横石溪背斜北西翼	古	较稳
170	巫山水竹园	左岸 141	基岩切层滑坡	100—400	1,900	T _{2b}	同上	古 1935年复活	不稳
184	巫山鸭浅湾	右岸 117	基岩崩塌	80—500	1,700	P _{1g}	同上	古	不稳
186	巫山曹家湾	右岸 116	同上	80—700	1,000	P _{1g}	同上	古	不稳
196	巴东左右沱	右岸 83	堆积层滑坡	140—700	1,600	Q ₄ /T _{1d}	同上	古	不稳
197	巴东火焰石	右岸 81	基岩顺层滑坡	70—400	1,600	P	横石溪背斜北西翼	历史	不稳
198	巴东西襄口	左岸 76	同上	100—280	1,400	T _{2b}	背斜转折端	历史 1951年复活	不稳
199	巴东黄腊石	左岸 66	堆积层滑坡	80—700	1,600	T _{2b}	秭归向斜盆地西缘	正在发展中	不稳
204	秭归范家坪	右岸 62	基岩顺层滑坡	100—600	1亿	J ₁	同上	古	较稳
212	秭归马家坝	左岸 52	堆积层滑坡	180—700	3,000	Q ₄ / J _{1-2s}	秭归向斜盆地西缘	古 1986年复活	不稳
213	秭归楚王城	右岸 38	基岩顺层滑坡	57—350	1,200	J _{2o}	同上	1561年5月	较稳
221	秭归新滩	左岸 27	堆积层滑坡	70—900	3,000	Q ₄ /S	黄陵背斜西翼	1985年6月 复活	不稳

崩塌体积相对较大。西段河谷长317公里，占总河谷长的52.8%，大型特大型滑坡崩塌仅5个，滑坡崩塌体总量1.05亿立方米，平均每63.4公里有大型特大型滑坡崩塌1个，平均每公里有33.12万立方米的滑坡崩塌堆积物；东段干流河谷长283公里，占总河谷长47.2%，计有大型特大型滑坡崩塌31个，总体积7.51亿立方米，平均每9.12公里河谷内有大型或特大型滑坡崩塌1个，平均每公里内有滑坡崩塌体积265.37万立方米（表3）。

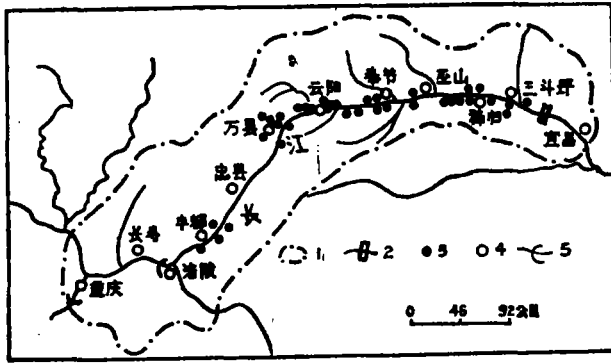


图1 三峡工程库区大型特大型滑坡崩塌长蛇阵图

表8

1,000万立方米以上滑坡崩塌分布对比表

项 目	西 段 (万县市以西)	东 段 (万县市和万县市以东)
河谷长(公里)	317.00	233.00
占总河谷长度的百分数(%)	52.80	47.20
滑坡崩塌(个)	5.00	31.00
平均每个崩滑点可占河谷长(公里/个)	63.40	9.12
滑坡崩塌体积(亿立方米)	1.05	7.51
平均每公里河谷占崩、滑体积(万立方米/公里)	33.12	265.37

从大型特大型滑坡崩塌分布的海拔高程看,有由西向东增高的趋势。在四川盆地内部,滑坡崩塌体后缘分布海拔250—360米,向东至万县一带增至海拔500米左右,云阳宝塔滑坡后缘海拔达530米,奉节、巫山一带500—700米;新滩滑坡后缘海拔高达800米。滑坡崩塌前缘分布海拔绝大多数与当地侵蚀基准面保持一致,部分略低于当地侵蚀基准面或高于当地侵蚀基准面。

从滑坡崩塌的规模上看,也有由西向东逐渐增大的趋势。重庆—涪陵,基本上没有大型特大型滑坡崩塌,均以小型(小于50万立方米)为主;向东至丰都境内,大型特大型滑坡崩塌的规模约1,000—2,000万立方米,最大的猫须子滑坡也不过3,000万立方米;万县、云阳、奉节一带崩滑体规模4,000—6,000万立方米,其中百焕坪滑坡达9,000万立方米;在秭归境内的范家坪滑坡体积达1亿立方米(图2),马家坝古滑坡的范围竟达10平方公里,推测古滑坡体积最少在2亿立方米以上,为三峡地区滑坡之冠。

(二) 滑坡崩塌分布规律

1、河谷大型特大型滑坡多集中分布于构造线急剧转弯的部位;背斜倾没端;向斜翘起端;几组构造线交叉复合的地段;构造盆地的边缘以及新构造活动相对强烈的上升区。现分别列举如下:

(1) 大型特大型滑坡崩塌集中分布在构造线急剧转弯的部位,最为典型的例子是万县市附

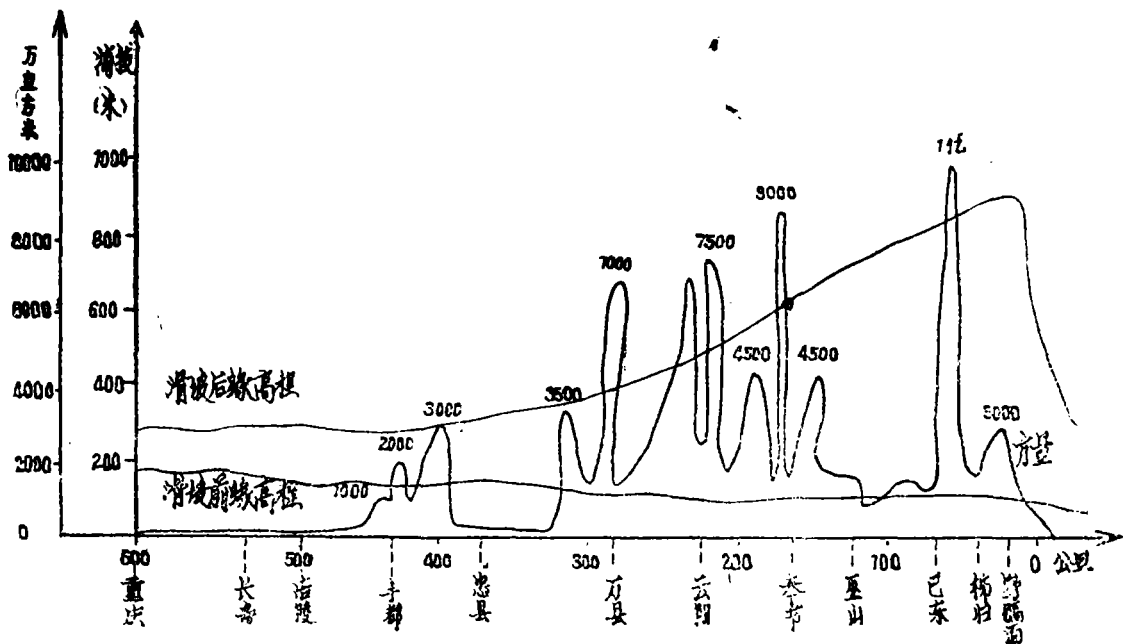
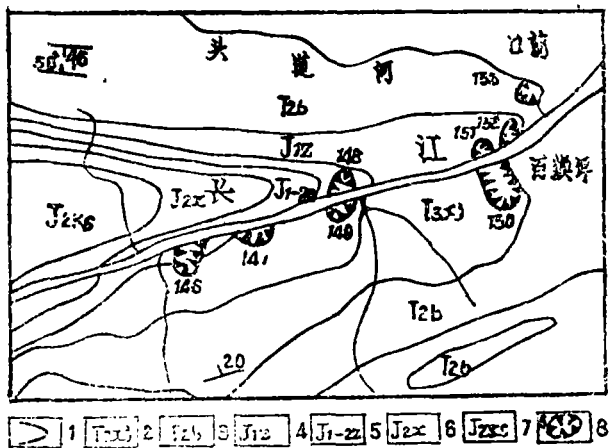


图2 崩塌滑坡规模地域变化曲线

近。该处构造上属新华夏系川东褶皱带。构造线总体方向，由北北东转为近东西向，成为向北北西突出的弧形褶皱带，并夹持在铁峰山背斜和方斗山背斜之间，组成现今万县向斜之北西翼近轴部。岩层十分破碎，区域性的节理裂隙比较发育：一组走向北40°东，倾向130°，倾角50°；另一组走向北40°西，倾向230°，倾角56°，裂隙宽度5—10毫米，裂隙率可达1—3%。

万县市附近河谷长不到16公里的范围内，有5,000万立方米以上的滑坡崩塌4处，1,000万立方米以上，5,000万立方米以下的滑坡3处（见滑坡崩塌分布图1）。滑坡崩塌体总量达3.1亿立方米。这一段河谷长度仅占干流河谷总长2.7%，而滑坡崩塌体总量却占全部崩塌滑坡体的22%。



1—地层界线；2—须家河组；3—巴东组；4—珍珠冲组；
5—自流井组；6—新田组；7—下沙溪庙组；8—滑坡及编号。

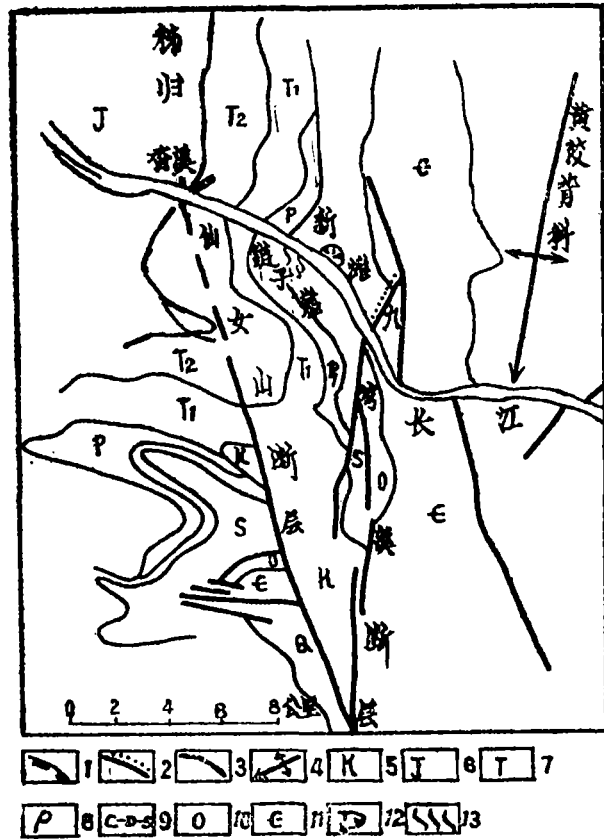
图3 古隆向斜东段翘起端滑坡分布图

(2) 大型特大型滑坡崩塌，多集中分袂于向斜翘起端，如奉节县境内的故陵向斜东段翘起端。该处河谷长度不过10公里，分布有大小滑坡8个，其中新铺滑坡（146号）体积为4,500万立方米，三磴子滑坡的体积为1,500万立方米，百换坪滑坡的体积为9,000万立方米（见图3）。这一段累计滑体总量约1.53亿立方米。河谷长度仅占总干

流河谷长度的1.7%，而滑体却 占总滑坡崩塌体积的11.28%。

(3) 大型特大型滑坡集中分布于不同构造线交叉复合的部位，最为典型的实例是从巴东左右沱向下游至香溪镇。该段构造上属鄂西隆起带向北东收敛，向东转折并与秭归向斜构造盆地边缘交接的地带（传统地质学上称巴东复向斜）。这一段河谷长51公里，有大小滑坡崩塌15个（见三峡工程崩塌、滑坡分布图），其中大于1,000万立方米的7个，大小滑坡崩塌体总量约2.14亿立方米。该段河谷长仅占总干流河谷长度8.6%，而土石方量占全部滑坡崩塌体的15.83%，其中范家坪滑坡体积为1亿立方米。

(4) 大型特大型滑坡崩塌还多集中分布于新构造活动相对剧烈的地段，最典型的实例是新滩链子崖一带的滑坡及危崖崩滑体。这一带岸坡夹持于仙女山和九湾溪活动断裂带之间（图4）。历史上曾发生多次山崩、滑坡灾害，有地震引起山崩，使长江断航的记载。1985年新滩古滑坡复活，其体积达3,000万立方米，现今新滩对岸的链子崖危险崩滑体体积达350万立方米。

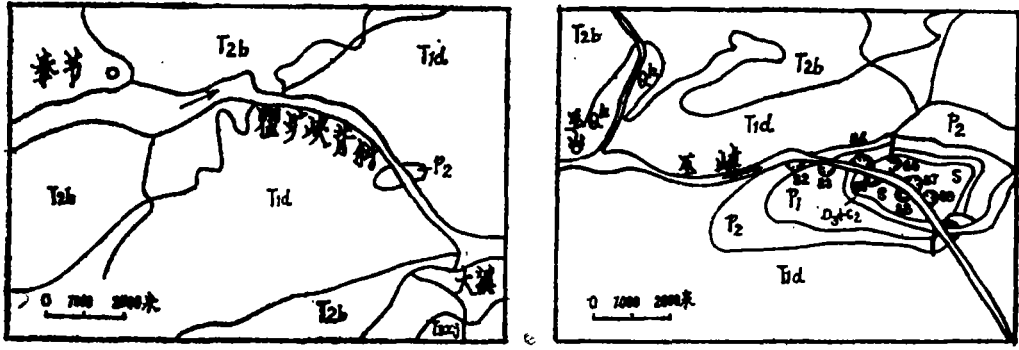


1—盆地边界，2—活动断层，3—性质不明断层，4—背斜，
5—白垩系，6—侏罗系，7—三迭系，8—二迭系，9—石炭-志留系，
10—奥陶系，11—寒武系，12—滑坡，13—危岩体。

图4 活动断裂与滑坡关系图

2、滑坡分布受地层岩性组合的控制。凡是上部坚硬的碳酸盐岩类或碎屑岩，下部软弱的泥岩、页岩、炭质页岩及煤层，且下伏软弱层直接暴露地表或接近地表的地质组合地段，都是滑坡崩塌集中分布地段。现以瞿塘峡背斜和横石溪背斜峡谷段为例对比论述如下（图5）。

横石溪背斜核部出露志留系页岩及二叠系炭质页岩夹煤层，其上覆盖二叠系白云质灰岩、灰岩、三叠系灰岩，组成上硬下软的地层岩性结构，因此在这一峡谷地带不过4公里长，出现滑坡崩塌11处，滑坡崩塌总体积达4,374万立方米，其中鸭浅子湾崩塌体1,700万立方米，曹家湾崩塌体1,000万立方米。奉节东侧的瞿塘峡，全长8公里，同样是背斜深切峡谷，也同样是上硬下软的岩性结构，只因下伏软弱层没有直接暴露地表或接近暴露地表，中上部坚硬灰岩直接插入河谷，而起支撑作用，故从峡谷进口至峡谷出口基本上见不到大型滑坡崩塌形迹。即使在同一背



1—地层界线；2—志留系；3—泥盆—石炭系；4—二迭系；

5—三迭系大冶组；6—三迭系巴东组；7—第四系；8—滑坡及编号；

图5 瞿塘峡和巫峡崩塌滑坡分布对比图

斜构造部位，也只因岩层软弱夹层暴露的空间位置不同，反映在大型滑坡崩塌的规模和分布的密集程度上也不尽相同。以兵书宝剑峡为例，该峡全长5公里，进口3公里一段为三叠系嘉陵江灰岩和大冶灰岩，而出口2公里一段，上覆坚硬的二叠系灰岩，下部大面积的志留系页岩裸露，两段同属活动断裂带的范围，同属黄陵背斜西南倾没端，只因峡谷上游进口段的软弱层未直接暴露，故基本上无崩塌滑坡分布，两岸虽然呈悬崖绝壁，但岩体都十分稳定。

3、大型特大型基岩顺层滑坡，集中分布于屈形向斜的两翼，如云阳古陵向斜，核部为侏罗系上统，岩层倾角较平缓，而两翼靠背斜岩层倾角急剧变陡，因此，在这一带岩层倾角上陡下缓。近河谷地段的缓倾角地层，组成强大的水平抗阻段，有利于高陡岸坡能量的积累，使之不易于因为外界因素的少许变化使岸坡失稳而导致小型滑坡产生，客观上为大型滑坡产生创造条件，如兴隆滩、旧县坪、云阳城西城东、鸡扒子、宝塔滑坡等。云阳鸡扒子滑坡，近翼部岩层倾角陡达 45° ，中部 $20-25^\circ$ ，核部仅 $6^\circ-10^\circ$ 。这一段长江河谷岸坡的变形均以大型特大型滑坡为主，如兴隆滩滑坡的体积达4,500万立方米，旧县坪滑坡7,000万立方米，云阳城关滑坡7,000万立方米，鸡扒子滑坡2,000万立方米，宝塔滑坡7,500万立方米。这一段河谷长不过17公里，1,000万立方米以上的滑体总量达2.75亿立方米，河谷长占总河谷长度的2.8%，滑坡却占总滑坡崩塌体积的20.34%。

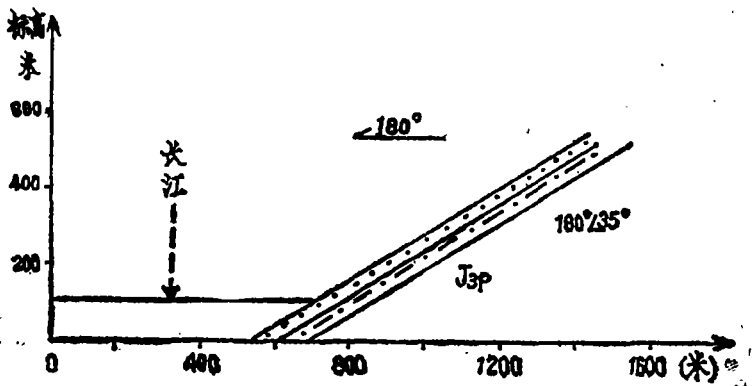


图6 塔子单斜陡倾河谷剖面

必须指出，上述地段旧县坪以下，云阳城西滑坡以上的地段，长约7公里，因长江逼近屈形向斜翼部，近河谷一带的岸坡缺乏明显的水平抗阻段（图6）。近翼部的岩层倾角陡，直接插入谷底，不利于高陡岸坡的积累，所以只产生小型滑坡6个，累计滑坡体积仅34万立

米。这一段反而成为滑坡分布规模较小地段，说得更确切一点，基本上算无滑坡分布区。

4、大型特大型滑坡多集中分布于峡谷之间的宽谷缓坡地段，特别是有多级台阶状谷坡地段。这些地段岸坡受软硬相间地层的影响，或受新构造活动间歇性抬升的影响以及受外动力作用形成多级平台，每一级平台都十分有利于岸坡物质的积累，为大型特大型滑坡创造了十分有利的地形地貌条件。当岸坡物质累积到一定程度时，就以滑坡的形式向河谷卸荷，如丰都向斜宽缓谷坡的陈吊崖、龙王庙、江湾等滑坡。该段河谷长23公里，累计滑体6,000万立方米。又如瞿塘峡和巫峡之间的刘家屋场滑坡、水竹园滑坡，滑体体积分别为4,500和1,900万立方米。

特别要引起注意的是，这些宽谷缓坡段，人们往往对它发生滑坡的可能性估计不足而造成判断失误，如鸡扒子滑坡和马家坝滑坡。这两起滑坡，临滑前都没有任何迹象，一场暴雨之后，突然性的出现滑坡，给人们带来了深重的灾难。三峡库区大型特大型滑坡崩塌集中分布地段见表4。

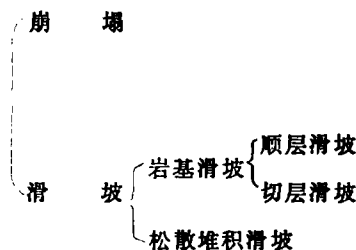
表4 三峡库区大型特大型滑坡崩塌集中分布地段统计

位 置	地 质 地 貌 部 位	河 谷 长 (公里)	崩 滑 点 (个)	体 积 (亿立方米)	
万县市	川东褶皱带弧形转折部位	16	7	3.1	
云阳县	故陵向斜翘起端	10	3	1.53	
巴东—秭归	川东鄂西大巴山弧形复合部位	51	7	2.14	
新滩—链子崖	活动断裂带	2	2	0.34	
云阳县	故陵向斜屈形谷段	17	6	2.75	
总 计		96	25	9.86	
占总河谷长度的百分比	16%	占崩滑总数的百分比	11.7%	占崩滑总量的百分比	72%

二、滑坡崩塌分类

据统计，拟建三峡工程的库区长江干流河谷中，100万立方米以上的滑坡崩塌70个，总体积13.28亿立方米，其中：滑坡61个，体积12.14亿立方米；崩塌9个，体积1.10亿立方米。滑坡数量占滑坡崩塌总数的87.15%，占总体积的91.73%；崩塌数量占滑坡崩塌总数的12.85%，占总体积的8.27%。

100万立方米以上的滑坡，按岩性划分出基岩滑坡和第四系松散堆积层滑坡两大类。其中基岩滑坡按滑动的空间位置分顺层和切层滑坡两大类，其结构式表达如下：



基岩顺层滑坡（100万立方米以上的）29个，累计体积达9.12亿立方米；基岩切层滑坡2个，累计方量0.68亿立方米。基岩顺层滑坡占滑坡崩塌总数的41.42%，累计体积占100万立方米以上的滑坡崩塌总体积的68.89%；基岩切层滑坡占滑坡崩塌总数的2.85%，占总体积的5%。

第四系松散堆积层滑坡（100万立方米以上的）30个，体积2.35亿立方米。松散堆积层滑坡占滑坡崩塌总数的42.85%，占总体积的17.73%。

从上述分类统计表明，河谷岸坡破坏的方式以基岩顺层滑坡为主，次为第四系松散堆积层滑坡；基岩切层滑坡及崩塌少许（表5）。

表5 100万立方米以上的滑坡崩塌分类统计表

类 型		个 数	占滑崩总数 (%)	体 积 (亿立方米)	占滑、崩总体积 (%)
基岩滑坡	顺 层	29	41.45	9.12	68.89
	切 层	2	2.85	0.68	5.00
第四系松散堆积层滑坡		30	42.85	2.35	17.73
崩 塌		9	12.85	1.10	8.33
总 计		70	100.00	13.25	100.00

（上接第37页）

5、实现农业结构调整的基础。发展农村第二、第三产业是农业结构调整的动力，重点是农副产品加工与提高乡镇企业的经济活力；大力发展山区交通和商业网点，建立商品流通场所；加强各种形式的经济联合，挖掘当地优势，鼓励资金、技术、劳力的流动，促进各业协调发展。同时，国家应充分利用经济制约手段，如农产品价格、农业投资与信贷、税收等经济杠杆作用，制定有利于结构调整的政策法令。

农业结构调整是一项涉及面广，影响深远，艰巨复杂的重要任务。我们用动态仿真方法进行结构调整的优化与预测，初步证明是有效的。但动态仿真建模困难，动态调控极为复杂，需多次反馈以趋完善，并有待于用其它方法互相验证和实践检验。

The large and largest landslides and collapses endangering the security of Three Gorges Project

Liu Xinmin Li Na Qiao Jianping

(Chengdu Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

From Shandouping to Chongqing, 214 landslides and collapses are distributed on the banks (the length is 600km) of the Yangtzi River Valley where Three Gorges Dam would be built. The area is more than 100km² and the total volume is 13.52 million m³. There can be 0.36 land slide and collapse in 1.0 km of the valley and the volume is 2.2532 million m³. Among 214 landslides and collapses, large or the largest ones (over 10 million m³) are 36. All of them are distributed at the banks of structure, the dipping ends of anticline and the raise ends of syncline, the composite sectors for crossing a few structure line groups, the strong uplifted area for neotectonics and the borders of the structure basin. The destructive ways of the valley and bankslope, the bedding landslide are main, the dissecting landslides are less, and then there loose accumulative landslides of the Quaternary Period occupy 20% of the total volume, the collapses are only about 8%. These landslides and collapses, especially large or the largest landslides are distributed in vital part of reservoir area and will endanger the security of Three Gorges Dam or even the whole of the reservoir.